

CÁTEDRA  
MADERA



Gobierno  
de Navarra



Universidad  
de Navarra

**Documentos de Cátedra Madera N° 2**

# **Las estructuras de los árboles**

José Manuel Cabrero

Artículo publicado originalmente en: Navarra  
Forestal. Junio 2012, nº 30, pp. 36-38

# navarraforestal



FORESNA ZURGAIA. REVISTA DE LA ASOCIACIÓN FORESTAL DE NAVARRA. NAFARROAKO BASO ELKARTEA

**ENTREVISTA A SALVADOR DEL PINO LÓPEZ, JEFE DE SECCIÓN DE GUARDERÍA E INGENIERO TÉCNICO FORESTAL**

**CHOPERAS Y CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO:**  
COBRO DEL CANON POR OCUPACIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO

**PROYECTO MICROFUEL: DESARROLLO DE UNA PLANTA MÓVIL DE PIRÓLISIS POR MICROONDAS**



# 12

LOS ÁRBOLES SE AUTODISEÑAN Y MODIFICAN SU FORMA DE TAL MODO QUE TODAS SUS CÉLULAS ESTÉN SOMETIDAS A LA MISMA TENSIÓN. HACERLO ASÍ INCREMENTA SU SEGURIDAD Y REDUCE LA POSIBILIDAD DE CAER Y MORIR. LOS ORGANISMOS MEJOR ADAPTADOS, AQUÉLLOS QUE HAN LOGRADO REDUCIR LAS CONCENTRACIONES DE TENSIONES, LAS ZONAS EN LAS QUE LAS CÉLULAS ESTÁN SOMETIDAS A MAYORES ESFUERZOS, SON LOS QUE VEMOS EN LA ACTUALIDAD.

*ZUHAITZAK AUTODISEINATU EGITEN DIRA ETA BEREN EITEA ALDATU EGITEN DUTE, HALAKO MOLDEZ NON BERE ZELULA GUZTIEK TENTSIO BERARI EUSTEKO LANEAN JARDUTEN DUTEN. HORRELA JOKATUZ, SEGURTASUNA HANDIAGO DA ETA ERORTZEKO EDO IHARTZEKO ARRISKUA TXIKIAGO. GAUR EGUNERA ARTE IRAUN DUTEN IZAKIAK DIRA TENTSIOAK HALAKO TOKI JAKINETAN EZ PILATZEA LORTU DUTENAK, OSO ESFORTZU HANDIKO ZATIAK EZ DITUZTENAK.*

## uso de la madera

# LAS ESTRUCTURAS DE LOS ÁRBOLES

Cuando disfrutamos de la sombra de un árbol, habitualmente ignoramos su historia. Si le prestamos atención, el árbol nos cuenta su historia. Podemos leer en su forma los avatares de su vida, los responsables de ella. Su propio crecimiento es su único mecanismo de adaptación a sus circunstancias. Por ello, se ha visto obligado a crecer de una determinada forma. Mediante su crecimiento, el árbol optimiza su forma para las nuevas circunstancias. Como no puede eliminar el material sobrante, siempre queda un rastro para aquél que sepa leer entre sus ramas y anillos. Los árboles nos cuentan toda su historia, y cómo se han adaptado a las nuevas situaciones.

### LEER LOS ÁRBOLES

Leer la forma de los árboles no es nada nuevo. El forestal alemán Metzger, allá por 1893, explicó que la forma cónica de los troncos de los abetos era una respuesta a los es-



ÁRBOL DERRIBADO POR TORMENTA

fuerzos a los que están sometidos. Como las fuerzas crecen conforme más cerca se está de la base, el tronco aumenta su diámetro para distribuir más las tensiones, y proporcionar a las fuerzas mayor área en la que repartirse. Metzger supuso que, entre otros motivos, esta explicación desde un punto de vista estructural también desempeñaba un papel en la forma de los árboles, y la bautizó con el nombre de axioma de la tensión uniforme.

Los árboles se autodiseñan y modifican su forma de tal modo que todas sus células estén sometidas a la misma tensión. Hacerlo así incrementa su seguridad y reduce la posibilidad de caer y morir. La seguridad estructural es un factor más en la selección natural. Los organismos mejor adaptados, aquéllos que han logrado reducir las concentraciones de tensiones, las zonas en las que las células están sometidas a mayores esfuerzos, son los que ve-



A PESAR DE SU HABILIDAD COMO INGENIEROS LOS ÁRBOLES SUCUMBEN

mos en la actualidad. Una zona más tensionada es más fácil que se rompa. Evitarla es cuestión de vida o muerte.

Además, si todo trabaja a la misma tensión, todo es también mucho más eficiente. Los humanos lo usamos también en nuestros diseños. Se aplica, por ejemplo, en los perfiles estructurales de acero. Su forma en I, con dos chapas horizontales en los extremos unidas por otra vertical más fina, surge de aplicar este axioma. Con la misma cantidad de material, pero colocado en el sitio correcto, se resisten cargas mucho mayores. Este principio es vital para un árbol. En su caso, el material disponible es su propio cuerpo. Crecer no es barato, y por ello debe hacerse de la forma más eficiente posible. Se trata de obtener el máximo creciendo lo mínimo. Hay que reducir la cantidad de material y su propio peso y, para así necesitar el mínimo de recursos.

El crecimiento de los árboles se concentra en una zona muy concreta, llamada cambium. Es una capa situada entre la madera y la corteza. Cuando el árbol percibe una zona con mayor tensión, reduce activamente esta tensión. Y el modo de disminuirla es aumentar la zona en la que la ha detectado: por tanto, crecer donde hay mayores tensiones. Así se homogeneiza la tensión y se previene la posible rotura. Es fácil encontrar estas zonas: en ellas, la distancia entre anillos es mayor.

Los árboles no pueden realizar el proceso contrario (como sí lo hacen, por ejemplo, nuestros huesos) y eliminar el material superfluo, que no trabaja tanto como los demás y que, por tanto, es inútil desde un punto de vista estructural. Por ello, es importante para ellos crecer bien, y no gastar energía inútilmente. Algunos métodos de diseño elaborados por el hombre copian este comportamiento para generar piezas estructurales optimizadas. Así, elementos

de nuestro entorno han sido diseñados según las "leyes de la naturaleza".

### CARRETERAS DE MADERA

¿Qué más podemos aprender de los árboles? Veamos la madera. Simplificando, cumple dos misiones fundamentales para los árboles: alimento y sostén. La savia sube por dentro de muchos pequeños tubitos. Simultáneamente, según los principios de economía de la naturaleza, estos tubos son también la estructura del árbol.

La madera, en lugar de ser una masa homogénea, se compone de fibras huecas. Es una ventaja adicional, porque las fibras actúan como carreteras por las que obligan a circular a las fuerzas. Las fibras trazan un camino en el que no aparezcan fuerzas que las separen, es decir, en el que no se puedan producir grietas. Éstas serían una rotura, y un problema a la hora de sostenerse en pie. También dejarían al





LOS ÁRBOLES SON CAPACES DE GRANDES ALARDES ESTRUCTURALES



EL ÁRBOL AUMENTA SU DIÁMETRO PARA AUMENTAR EL ÁREA DE REPARTO DE TENSIONES

descubierto el interior del árbol, y facilitarían el ataque de organismos a sus entrañas.

Mientras no haya obstáculos, es bastante sencillo para las fibras saber qué dirección seguir: simplemente el camino más corto hasta el suelo, hacia la cimentación que proporcionan las raíces. Pero, ¿qué ocurre cuando aparece un obstáculo como es, por ejemplo, una rama? ¿Cómo sortearla? Las fibras deben rodearlo. El árbol no tiene otro remedio, pues, además, estas fibras son sus venas, y necesita que sigan su discurrir a todas partes. El modo en que se ordenan reduce al mínimo los esfuerzos transversales y las concentraciones de tensiones que siempre aparecen alrededor de un agujero.

### LADRILLOS Y CUERDAS

Pero no llega hasta aquí solo la inteligencia estructural de los árboles. Han desarrollado una serie de mecanismos adicionales con los que adaptarse al ambiente y sus cargas. Si se analizan con un poco más de detalle los tubos que forman la madera, podría hablarse de un conjunto de largas chimeneas de "ladrillos" de lignina, unidos por "cuerdas" de celulosa. Los ladrillos soportan compresiones, como el peso

del árbol. Complementariamente, las cuerdas tracciones como, por ejemplo, las que produce en la cara exterior de un árbol sometido al viento. Se trata de dos materiales muy distintos, cada uno de ellos diseñado para una función distinta, y que en conjunto son capaces de soportar todo tipo de cargas.

Pero no queda ahí todo. Pensemos en qué ocurre cuando sopla el viento. Los anillos y fibras del tronco se deslizan entre sí, de un modo similar al de las páginas de un libro cuando lo doblamos. Para soportar vientos mayores es necesario que estén pegados entre sí. Por ello existen unas células transversales que sirven de unión entre las capas adyacentes. Estos radios funcionan como tornillos que sujetan las páginas del árbol (los anillos) entre sí. Estas células que unen las fibras no son iguales en todos los árboles. En algunos son bajitas, y para compensar su escaso tamaño, tienen mayor proporción de ladrillos de lignina, para ser más resistentes. El roble y el haya, al contrario, tienen radios de mayor tamaño que traban mejor las capas y necesitan menos ladrillos.

Los radios cumplen otra misión adicional. Si se presiona un conjunto de pajitas de beber,

tenderán a separarse con muy poca presión. Si en cambio, se unen mediante unas gomas, la carga que aguantarán será mucho mayor. Los radios actúan como esas gomas. De este modo, el tronco resiste más peso, y el árbol puede subir a mayor altura para buscar el sol por encima de las copas de los demás.

### EL SABER NATURAL

Son algunos ejemplos de la habilidad de los árboles como ingenieros. Empleando la misma cantidad de energía, fabricando la misma cantidad de material, se puede sucumbir bajo el siguiente huracán o permanecer en pie. Son resultados muy distintos, que sólo dependen de lo bien o mal que se hayan jugado las cartas.

¿Cómo sobrevivir? Los humanos, tras siglos de investigación, hemos llegado a nuestras propias conclusiones. Los árboles lo descubrieron mucho antes que nosotros, hace millones de años. De hecho, nos lo enseñan cada día si queremos escucharles y observarles. Es la selección natural. Sólo el mejor sobrevive. Y ellos, tras muchos milenios de historia, siguen aquí, por mucho tiempo.

José Manuel Cabrero. Director de Cátedra Madera